

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Posouzení přínosů a negativ LED osvětlení na rypadle SchRs 1550

Assessment of benefits and negative LED lighting on the excavator

SchRs 1550

2012

Jiří Čermák

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Čermák**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Posouzení přínosů a negativ LED osvětlení na rypadle SchRs1550**
Assessment of benefits and negative LED lighting on the excavator
SchRs 1550

Zásady pro vypracování:

1. Popis světelných zdrojů a svítidel používaných ve venkovním osvětlování
2. Možnosti využití LED pro osvětlování rypadel
3. Návrh osvětlení pomocí LED svítidel na rypadle SchRs1550
4. Energetické a ekonomické vyhodnocení návrhu osvětlení pomocí LED svítidel ve srovnání se sodíkovými svítidly

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995,
- [2] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [3] Richtr, Z., Novák, T., Potenciál úspor vyplývající z použití moderních světelných zdrojů ve vnitřních pracovních prostorech, DP 2011

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce profesoru Ing. Karlu Sokanskému, CSc za poskytnutí odborných materiálů a cenných rad při zpracování mé bakalářské práce.

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Jirkově
30.4.2012

.....
podpis

Abstrakt

Hlavním úkolem této práce je zaměřit se na venkovní osvětlení rypadla SchRs 1550. Budou zde popsána svítidla a druhy světelných zdrojů použitých ve venkovním osvětlení pochůzných cest na rypadle, ale i svítidla a světelné zdroje použité pro správné osvětlení jednotlivých přesypů i dobývacího prostoru a pojezdové dráhy stroje. Dále je zde proveden návrh tohoto osvětlení pomocí LED světelných zdrojů (svítidel). V závěru této práce je provedeno energetické a ekonomické vyhodnocení návrhu osvětlení pomocí LED svítidel ve srovnání se sodíkovými svítidly.

Klíčová slova

Osvětlení, LED, svítidlo, světelný zdroj, světlomet

Abstract

The main goal of this work focuses on the SchRs 1550 excavator's outdoor lights. Different types of lights and light sources used for outdoor lightning of the excavator's inspection paths will be described below. Also lights and light sources used for correct lighting of individual dunes or mine space's and taxiway machine track. Further there is executed a proposal of such lighting using LED lighthing sources (lights). An energetic and economic evaluation of the lighting proposal using LED lights in comparison with sodium lights is also executed at the end of this work.

Key Words

Lighting, LED, lamp, light source, floodlight

Seznam použitých symbolů a zkratek

Značka	Název nebo popis	Jednotka	Název jednotky
λ	Vlnová délka	m	metr
Φ_e	Zářivý tok	W	watt
Φ	Světelný tok	lm	lumen
I	Svítivost	cd	kandela
Ω	Prostorový úhel	sr	steradián
E	Osvětlenost, Intenzita osvětlení	lx	lux
E_m	Udržovaná osvětlenost	lx	lux
E_{max}	Maximální osvětlenost	lx	lux
E_{min}	Minimální osvětlenost	lx	lux
L	Jas	cd.m ⁻²	kandela na metr čtverečný
H	Světlení	lm.m ⁻²	lumen na metr čtverečný
η	Měrný světelný výkon	lm.W ⁻¹	lumen na watt
η_{sv}	Účinnost svítidla	%	procento
T_c	Teplota chromatičnosti	K	kelvin
R_a	Index barevného podání	-	
P	Příkon zdroje	W	watt
A	plocha	m ²	metr čtverečný
U_d	Celková rovnoměrnost osvětlenosti	-	
MF	Udržovací činitel	-	
UGR	Index oslnění	-	
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování		

Obsah

Úvod	- 1 -
1. Světlo a zrakový systém.....	- 2 -
1.1. Světlo	- 2 -
1.2. Zrakový systém.....	- 3 -
2. Základní světelně technické veličiny a pojmy v osvětlování	- 4 -
2.1. Základní veličiny.....	- 4 -
2.2. Základní pojmy	- 6 -
3. Popis osvětlení na rypadle SchRs 1550	- 8 -
4.1. Světelné zdroje.....	- 10 -
4.1.1. Směsová výbojka 160 W.....	- 10 -
4.1.2. Rtuťová vysokotlaká výbojka 400 W s luminoforem	- 11 -
4.1.4. LED žárovka Philips Master LED 7W.....	- 12 -
4.1.5. LED žárovka Lightronic	- 13 -
4.2. Svítidla venkovního osvětlení	- 13 -
4.2.1. Závěsné pryžové svítidlo LEO.....	- 14 -
4.2.2. Vaničkové svítidlo TUB	- 15 -
4.2.3. Světlomety HALSPOT I a II.....	- 15 -
4.3. Požadavky na osvětlování vnějších prostorů	- 16 -
5. Možnosti využití LED pro osvětlování rypadel	- 18 -
5.1. Světelné diody (LED)	- 18 -
5.2. Návrh osvětlení pomocí LED svítidel.....	- 22 -
5.2.1. Kritéria pro výpočet	- 22 -
5.2.2. Výpočet osvětlení před kabinou řidiče.....	- 23 -
5.2.3. Výpočet osvětlení pochůzných cest	- 27 -
5.2.4. Zásady pro výběr LED svítidla	- 29 -
5.2.5. Výběr LED svítidla pro osvětlování prostoru před kabinou řidiče	- 29 -
5.2.6. Výpočet osvětlení před kabinou řidiče pomocí LED	- 30 -
5.2.7. Výběr LED svítidla pro osvětlování pochůzných cest.....	- 35 -
5.2.8. Výpočet osvětlení se svítidly Mini Iridium LED	- 36 -
6. Energetické a ekonomické vyhodnocení návrhu LED osvětlení.....	- 38 -

Závěr	- 39 -
Použitá literatura	- 40 -
Seznam obrázků	- 41 -
Seznam tabulek	- 42 -
Soupis norem.....	- 43 -

Úvod

Tato Bakalářská práce se zabývá venkovním osvětlením rypadla SchRs 1550, který je jedním z technických prostředků určených především k odtěžování skrývky v Severočeských dolech a.s.

Severočeské doly a.s. jsou společností, která vznikla dne 1. ledna 1994 rozhodnutím o privatizaci podstatné části majetku dvou státních podniků, Doly Nástup Tušimice a Doly Bílina. Předmětem jejího podnikání je zejména těžba, úprava a odbyt hnědého uhlí a doprovodných surovin.[1]

Svou těžební činnost provozují v Severočeské hnědouhelné páni na dvou odloučených lokalitách Tušimice a Bílina. Doly Bílina jsou producentem nízkosírnatého tříděného a energetického uhlí. Doly Nástup Tušimice produkují především energetické uhlí. Sortiment produkce je velmi široký a stejně široká a různorodá je i struktura odběratelů, kterým společnost garantuje kvalitu a standardy produkovaného uhlí. Společnost ročně produkuje řádově 20 mil. tun uhlí, čímž zaujímá vedoucí pozici na trhu.[1]

Rypadlo SchRs 1550/4x30 je nasazeno v prvním skrývkovém řezu v provozu Doly Nástup Tušimice. Jedná se o kolesové rypadlo na housenicovém podvozku s teoretický výkonem 5500 m³/h těženého materiálu při max. výšce řezu 30m a max. hloubce 4m.

Vzhledem k nepřetržitému provozu dobývacích strojů je potřeba udržovat osvětlení na těchto strojích v dobré kondici. Dle normy ČSN EN 12464 -1 Světlo a osvětlení, aby mohli lidé vykonávat zrakové úkoly účinně a přesně, zvláště v noční době, musí jim být poskytnuto přiměřeně vhodné osvětlení.

Jelikož těžený materiál je často nestejnorodý, mnohdy velice hutný a tvrdý (příkladem jsou vápencové balvany nebo čocky, jílové hlíny nebo uhlí), dochází obvykle k různému pohupování, vibracím i silným otřesům nejen kolesového výložníku, ale i celého stroje. Tyto otřesy jsou příčinou významného zkrácení života použitých světelných zdrojů, určených k osvětlování na tomto stroji. Dalším negativem jsou rozjezdy velkých pohonů na rypadle. Při častém spouštění těchto pohonů (např. pohon kola 1MW) dochází vlivem větších úbytků napětí v síti k pohasínání svítidel s výbojkami.

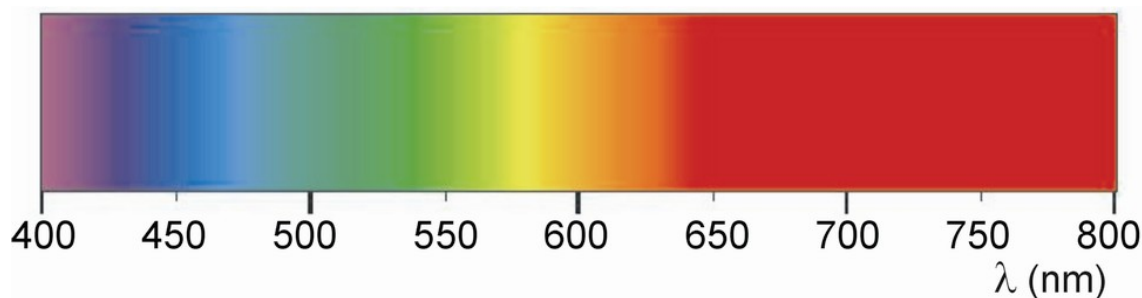
Tyto provozní problémy vedly k posouzení výměny stávajícího osvětlení za osvětlení pomocí LED (light emitting diode) svítidel, jejichž světelný potenciál je již na vysoké úrovni a stále se zvyšuje. Důležitým faktorem je fakt, že díky četné konkurenci ve vývoji, se LED osvětlení stává dostupným a je jen otázkou času, kdy se stane primárním nebo jediným zdrojem osvětlení ve všech odvětvích. Od této výměny si slibují úsporu elektrické energie a hlavně úsporu finanční vzhledem k dosavadním častým výměnám světelných zdrojů.

1. Světlo a zrakový systém

Při osvětlování se vychází z rozboru systému, složeného v zásadě z pozorovaných objektů, světla a zrakového orgánu. V tomto systému je zrakový orgán zařízením pro příjem a zpracování informace o vnějším prostředí a světlo pak je médiem tuto informaci přenášejícím. To znamená, že světlo a způsob jeho využití, tedy osvětlování, jsou prostředky, které mohou proces vnímání buď usnadnit nebo ztížit.[2]

1.1. Světlo

Viditelné světlo - je elektromagnetické záření o vlnové délce 380–780 nm. Vlnové délky světla leží mezi vlnovými délkami ultrafialového záření a infračerveného záření. Studium světla a jeho interakcemi s hmotou se zabývá optika.



Obrázek 1- Barva světla podle vlnové délky[3]

Ke vzniku světla v současných světelných zdrojích dochází z hlediska druhu dodávané energie a látky, ve které se tato energie mění na světelnou na těchto třech základních principech[3]:

- **Inkandescencí** - neboli tepelným buzením vznikajícím při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu (obyčejné a halogenové žárovky – energie tepelná vzniká průchodem proudu wolframovým jádrem)
- **Vybuzením atomů v elektrickém výboji** - nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje (zářivky, rtuťové, sodíkové, halogenidové výbojky)
- **Luminiscencí pevných látek** - vznik světla na principu přeměny záření o kratší vlnové délce na viditelné záření o delší vlnové délce (UV +luminofor)

1.2. Zrakový systém

Viditelné světlo je zpracováno zrakovým orgánem ve zrakový vjem. Proces vnímání je velice složitý, při kterém fyziologické a také psychofyzikální vlivy mají větší vliv než jevy čistě optické. Zrakový orgán je definován jako soubor složený z oka, optických nervových drah, podkorových zrakových center a části mozkové kůry, jež mění světelný podnět (záření) v komplex nervových podráždění vytvářejících zrakový vjem.[4]

Vidění neboli zrakové vnímání je proces příjmu zrakové informace, rozlišení rozdílů (kontrastu) jasů a barev, tvarů a na základě tohoto identifikace a analýza.

Mezi základní zrakové mechanismy patří:

- **Akomodace** – přizpůsobení oka vzdálenosti pozorovaného předmětu k dosažení ostrého zobrazení
- **Adaptace** – přizpůsobení oka různým hladinám osvětlenosti

Zrak člověka nepracuje staticky, oči se neustále pohybují a obraz na sítnici se proto též mění (asi 5 obrázků / s). Dojem o státnosti vzniká vlivem kompenzačních mechanismů, které ruší informaci o změně vyvolané pohybem očí, hlavy či těla. Proto člověk vnímá jako takové pouze ty změny, které skutečně ve vnějším prostředí proběhly. Dynamičnost zrakových funkcí je nutno brát v úvahu zvláště při návrhu rozložení jasů v daném prostoru. Překročí-li se totiž meze adaptability zraku, vzniká oslnění. Oslnění ruší zrakovou pohodu, zhoršuje, až znemožňuje vidění.[2]

2. Základní světelně technické veličiny a pojmy v osvětlování

2.1. Základní veličiny

Zářivý tok Φ_e (W) – výkon zdroje přenášený zářením[2]

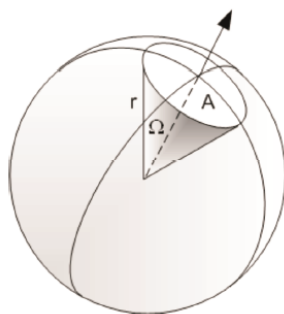
Světelný tok Φ (lm) – zářivý tok zhodnocený zrakem normálního fotometrického pozorovatele. Udává, kolik světla celkem vyzáří zdroj do všech směrů. Jde o světelný výkon, který je posuzován z hlediska lidského oka[2]

Svítivost I (cd) – veličina udává, kolik světelného toku Φ vyzáří světelný zdroj nebo svítidlo do prostorového úhlu Ω v určitém směru.[4]

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (\text{cd; lm, sr})$$

Prostorový úhel Ω (sr) – je úhel při vrcholu kuželu. Jeho velikost je definována jako poměr kulové plochy A , kterou vyřezává úhel Ω v kulové ploše o poloměru r a druhé mocniny tohoto poloměru. Prostorový úhel má hodnotu 1 steradián, když vyřizne z kulové plochy koule o poloměru 1 m plochu 1 m². [4]

$$\Omega = A^2 / r$$



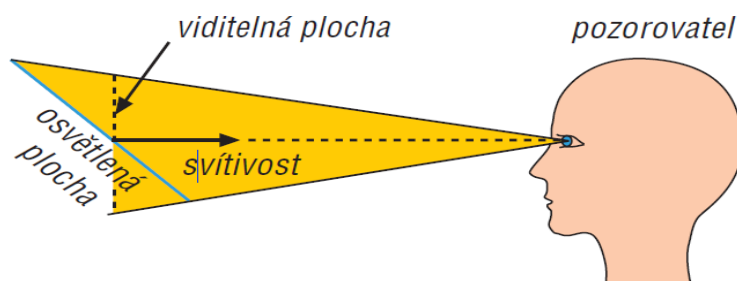
Obrázek 2 - Vymezení prostorového úhlu[3]

Osvětlenost E (lx) – je intenzita osvětlení. Je to plošná hustota světelného toku. Udává jak je určitá plocha osvětlována, tj. kolik lm světelného toku dopadá na 1 m² [4]

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (\text{lx; lm, m}^2) \quad A \dots \text{osvětlená plocha}$$

Jas L (cd.m^{-2}) – jas je měřítkem pro vjem světlosti svítícího nebo osvětlovaného povrchu[4]

$$L = \frac{I}{A_v} \quad (\text{cd.m}^{-2}; \text{cd, m}^2)$$



Obrázek 3 - Definice jasu [5]

Světlení H (lm.m^{-2}) – světelný tok Φ_v vyzářený svítidlem z plošky svítící plochy A_v

$$H = \frac{\Phi_v}{A_v} \quad (\text{lm.m}^{-2}; \text{lm, m}^2)$$

Měrný (světelný) výkon η (lm.W^{-1}) – udává, s jakou účinností je ve zdroji světla elektrina přeměňována na světlo, tj. kolik lm světelného toku Φ se získá z 1 W elektrického příkonu P . U zdrojů bez předřadníků to znamená žárovek, je výkon zdroje totožný s příkonem svítidla, u zdrojů s předřadníkem jako jsou zářivky anebo výbojky je nutno k příkonu světelného zdroje přičíst příkon předřadníku.[4]

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm.W}^{-1}; \text{lm, W})$$

Celková rovnoměrnost osvětlenosti - $U_d = \frac{E_{\min}}{E_p} = \frac{L_{\min}}{L_p}$

Podélná rovnoměrnost jasů - $\frac{L_{\min}}{L_{\max}}$

E_{\min} ... minimální osvětlenost v poli kontrolních bodů

E_p ... průměrná osvětlenost v poli kontrolních bodů

L_{\min} ... minimální jas v poli kontrolních bodů

L_p ... průměrný jas v poli kontrolních bodů

L_{\max} ... maximální jas v poli kontrolních bodů

Teplota chromatičnost T_c (K) – ekvivalentní teplota tzv. černého zářiče, při které je spektrální složení záření těchto dvou zdrojů blízké. Zvýší-li se teplota absolutně černého tělesa, zvýší se podíl modré části spektra a sníží se červený podíl.[4]



Obrázek 4 - Teplota chromatičnosti[6]

Index barevného podání R_a (-) – světelný zdroj by měl podávat svým světelným tokem barvy okolí věrohodně. Měřítkem této vlastnosti je index podání barev R_a daný rozsahem $100 \div 0$. [4]

2.2. Základní pojmy

Barva světla – můžeme rozlišovat 3 důležité skupiny: teple bílá < 3300 K

neutrální bílá $3300 \div 5000$ K

denní bílá > 5000 K

při stejné barvě světla mohou mít světelné zdroje různé vlastnosti v podání barev[4]

Provozní účinnost svítidel – je důležitým kritériem hodnocení svítidla. Udává poměr světelného toku vycházejícího ze svítidla ku světelnému toku zdroje, kterým je svítidlo osazeno.[4]

Činitel využití – je důležitým měřítkem pro hodnocení celkové účinnosti osvětlovací soustavy. U venkovního osvětlení ho definujeme jako poměr užitečného světelného toku, který dopadá na plochu, kterou chceme osvětlovat, k toku světelných zdrojů.[4]

Zrakový úkol – vizuální prvky vykonávané práce (pozorované velikosti, jas, kontrast apod.)

Místo zrakového úkolu – dílčí místo na pracovišti, na němž se nachází zrakový úkol (případně prostor, v němž se úkol může objevit)

Oslnění – je nepříznivý stav zraku, jenž ruší zrakovou pohodu nebo i zhoršuje, až znemožňuje vidění. K oslnění dochází vlivem velkých jasů nebo jejich rozdílů, které významně překračují meze adaptability zraku.[7]

Udržovací součinitel MF – charakterizuje snížení účinnosti svítidla způsobené nečistotami usazenými na světelných zdrojích a svítidlech za dané období. Je definován jako podíl osvětlenosti zajištěné osvětlovací soustavou po určité době jejího provozu a osvětlenosti zajištěné novou soustavou.[11]

Životnost světelného zdroje (hod.) – je doba funkce zdroje do okamžiku, kdy přestal splňovat stanovené požadavky.[4] (viz tabulka 1)

Užitečný život – doba funkce zdroje, během níž si jeho parametry zachovávají hodnoty ležící v určitých stanovených mezích.[4]

Fyzický život – celková doba svícení do okamžiku úplné ztráty provozuschopnosti.[4]

Tabulka 1- Orientační životnost různých světelných zdrojů[3]

Druh světelného zdroje	Průměrná životnost (h)	Užitečná životnost (h)
Obyčejné žárovky	1 000	1 000
Halogenové žárovky	2 000 – 3 000	2 000 – 3 000
Kompaktní zářivky	15 000	6 000 – 15 000
Lineární zářivky	20 000	10 000 – 18 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	16 000 – 24 000	10 000 – 20 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	32 000	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	16 000	16 000
Halogenidové výbojky	10 000	4 000
Indukční výbojky	60 000	20 000
Výkonové LED	50 000 – 100 000	25 000 – 50 000
Plazmové světelné zdroje	50 000	50 000
Xenonové výbojky	1 000 – 3 000	1 000 – 3 000

3. Popis osvětlení na rypadle SchRs 1550

Osvětlení v povrchových dolech musí splňovat normu povrchových dolů NPD 31-6-61, dále ČSN 34 1638 – „Elektrická zařízení těžební technologie pro povrchové dobývání“ a hlavně normu ČSN EN 12464-2 - „Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů “ (je náhradou normy ČSN 36 0051- „Osvětlování povrchových dolů pro těžbu nerostných surovin“). Tyto normy stanovují požadavky na osvětlení pro venkovní pracovní prostory z hlediska zrakové pohody a zrakového výkonu.

Osvětlení na rypadle SchRs 1550 je rozděleno na **vnitřní, orientační, venkovní, nouzové a světlomety**. Osvětlení jednotlivých sekcí stroje tvoří světelné okruhy.

• Vnitřní osvětlení

Osvětlení vnitřních prostor je provedeno zářivkovými svítidly.

• Orientační osvětlení

Orientační osvětlení osvětluje pouze hlavní pochůzkové trasy a je určeno pro případ odstavení stroje z provozu (venkovní osvětlení může být vypnuto) a je řešeno žárovkovými svítidly. Orientační osvětlení je ovládáno automaticky světelnými čidly. V běžném provozu se rozsvěcí automaticky společně s venkovním osvětlením. V současné době jsou již v těchto svítidlech použity LED světelné zdroje Philips MASTER LED 7W, jako přímá náhrada žárovek.

• Venkovní osvětlení

Osvětlení venkovní (plošiny, schodiště, pochůzní lávky) je provedeno závěsnými pryžovými svítidly s výbojkami, které jsou upevněny na zkrácených stožarcích, případně na závěsech v konstrukci stroje. Prostory s nízkými průchozími profily a žebříky jsou osvětleny vaničkovými svítidly s výbojkami. Světelnými zdroji venkovního osvětlení jsou směšové výbojky.

• Nouzové osvětlení

Nouzové osvětlení je provedeno 54 autonomními svítidly s LED světelnými zdroji od firmy Lightronic. Světelné zdroje jsou jako přímá náhrada za žárovky s patičí E27. Tato svítidla se rozsvěcí samočinně při výpadku napětí sítě světelných zdrojů.

• Světlomety

Světlomety slouží jako hlavní pracovní osvětlení stroje, zejména pro osvětlení pracovního prostoru kola, přesypů a okolního terénu housenic. Je provedeno světlomety s halogenovými žárovkami o výkonu 1000W a 1500W a výbojkovými světloomety 400W. Světlomety se ovládají ručně z monitorů v kabinách řidičů.



Obrázek 5 - Rypadlo SchRs 1550 při nočním provozu [8]



Obrázek 6 - Celkový pohled na rypadlo SchRs 1550 [8]

4. Světelné zdroje a svítidla venkovního osvětlení

4.1.Světelné zdroje

Základní rozdělení: Teplotní (žárovky)

Výbojové (nízkotlaké a vysokotlaké výbojky)

LED

Světelné zdroje jsou základní součástí osvětlovacích soustav. Zdroje se posuzují podle vyzařovaného **světelného toku** Φ (lm) a jejich **elektrického příkonu** P (W). Pro vzájemné porovnání zdrojů se pak využívá **měrného výkonu** η ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$), který je roven podílu zmíněných veličin Φ/P . Kvalita zdrojů se hodnotí podle životnosti zdroje, stálosti světelného toku během života zdroje, podle prostorového rozložení světelného toku a zejména též podle chromatičnosti vyzařovaného světla. Jakost vjemu barev ve světle daného zdroje se udává **indexem podání barev** R_a , jehož hodnoty jsou od 0 do 100. Nejvěrnější je vjem barev ve světle teplotních zdrojů a přiřazuje se jim $R_a = 100$. Nelze-li rozeznat ve světle zdroje barvy vůbec, pak je $R_a = 0$. Podání barev se považuje za **uspokojivé pro $R_a > 40$ a dobré pro $R_a > 70$** . [2, 3]

Světelnými zdroji užívanými na rypadle SchRs 1550 pro venkovní osvětlení a světlometry jsou: **směšové výbojky 160W, výbojky 400W, halogenové žárovky 1000W a 1500W**

4.1.1. Směšová výbojka 160 W

Nejčastěji používaným světelným zdrojem pro venkovní osvětlení rypadla SchRs 1550 je právě směšová výbojka typ ML 160 W firmy Philips, nebo typ HWL(MBFT) 160 W od firmy Osram, případně HSB-BW 160W firmy Sylvania. Tyto výbojky jsou použité v závěsných pryžových svítidlech typu LEO a vaničkových svítidlech typu TUB.

Směšové výbojky mají křemennou vysokotlakou rtuťovou trubici zařazenou v sérii s wolframovým vláknem, které slouží zároveň jako zdroj běžného žárovkového světla a také jako omezovač proudu. Jsou určeny pro síťové napětí (v rozmezí 225 V – 235 V) a díky patici se závitem E27 je lze instalovat přímo do svítidel určených pro běžné žárovky. Směšové výbojky poskytují světlo z emise elektronů wolframového vlákna a elektrického výboje ve výbojové trubici. Poskytují příjemně teplou bílou barvu, mají životnost (obecně) až 16000 hodin a po 8000h je světelný tok přibližně na 80% původní hodnoty. Na rypadle je ovšem životnost vlivem značných otřesů a častějšímu spínání výrazně zkrácena.[9]



Obrázek 7 - Směšová výbojka ML 160W

Základní údaje: (dle kat.listu Philips)

Index podání barev R_a	Teplota chromatičnosti (K)	Světelný tok zdroje (lm)
65	3600	2850 až 3200

4.1.2. Rtuťová vysokotlaká výbojka 400 W s luminoforem

Vysokotlaká rtuťová výbojka 400 W použitá v kruhových světlometech, je na rypadle SchRs 1550 využívána pro osvětlení větších ploch např. prostor za štítem kolesového pasu, či jako osvětlení pasového dopravníku před kabinou obsluhy nakládací části rypadla.

Tyto výbojky vyzařují asi 15% přivedené energie. Jejich světlo je modrobílé a modrozelené. Pro zamezení úniku UV záření se na vnitřní stěnu nanáší luminofor. Nevýhodou je, že k ustálení výboje u rtuťových výbojek dochází až po 3 – 5 minutách. Pokud dojde k přerušení či poklesu napětí dojde ke znovuzapálení až asi po 7 minutách. Jako všechny výbojky se neobejde bez předřadného zapalovacího zařízení s tlumivkou. Výhodou je malý pokles světelného toku během života, odolnost proti otřesům a změnám teploty a doba života 12000 – 15000 hod.[3]

Základní údaje:

Index podání barev R_a	Teplota chromatičnosti (K)	Světelný tok zdroje (lm)
50	3150	22500

4.1.3. Halogenová žárovka 1000 W a 1500W

Halogenové lineární žárovky 1000 W a 1500W jsou využívány ve světlometech typu HALSPOT I nebo II pro osvětlení jednotlivých přesypů a hlavně pro osvětlení zorného prostoru řidiče rypadla a pojezdových drah před housenicovými podvozky rypadla.

Halogenové žárovky využívají tzv. kruhového procesu, což znamená, že vypařený wolfram z vlákna žárovky se u stěny baňky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací zpět na nejteplejší místo vlákna, kde se wolfram usazuje zpět a halogen se vrací k povrchu baňky. Tím se zvyšuje světelný tok a prodlužuje doba života žárovky. Výhodou je příjemné bílé světlo, měrný výkon asi $22 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a doba života asi 2000 hodin.



Obrázek 8- Lineární halogenová žárovka

Základní údaje:

Index podání barev R_a	Teplota chromatičnosti (K)	Světelný tok zdroje (lm)
100	3100	22000

Nevýhodou těchto žárovek při použití na rypadle SchRs 1550 je existence wolframového vlákna, které je vlivem otřesů neustále v pohybu. Dalším negativem je hrotové uchycení, kde při otřesech dochází k přechodovým odporům a ke zvýšení procházejícího proudu v místě dotyků a tím k vyhřívání patič žárovek i světlometů. Takto je životnost těchto zdrojů značně snížena.

4.1.4. LED žárovka Philips Master LED 7W

Světelným zdrojem pro orientační osvětlení se již nyní používá, místo klasických, dříve používaných 40W žárovek, nová žárovka Master LED 7W/230V od firmy Philips. Je osazena patič E27 a vyzařuje bílé světlo. Výrobce udává dlouhou životnost až 45000 hodin.



Obrázek 9- Žárovka Master LED7W[9]

Základní údaje:

Index podání barev R_a	Teplota chromatičnosti (K)	Světelný tok zdroje (lm)
80	4200	400

4.1.5. LED žárovka Lightronic

Ve všech svítidlech na rypadle určených k nouzovému osvětlení je použito LED žárovky s patičí E27 od firmy Lightronic. Žárovka je napájena 24V DC, obsahuje 20 bíle vyzařujících led diod a může být zatěžována trvalým proudem 60mA. Pro nouzové osvětlení vnějších prostorů je použito svítidel typu TUB odlišených zeleným pruhem (celkem 40 ks).



Obrázek 10- LED žárovka pro nouzové osvětlení

4.2. Svítidla venkovního osvětlení

Svítidla musí svým provedením odpovídat ČSN 36 0701, Prostředí, ve kterém budou svítidla použita, určuje provozovatel zařízení.

Klasifikace prostředí na rypadle je stanoveno dle **ČSN 33 2000-3**:

Na místech nechráněných proti povětrnostním vlivům

Atmosférické podmínky	AB3+AB6
Výskyt vody	AD3
Prašnost	AE6
Koroze	AF2
Mech. namáhání	AG3
Vibrace	AH3

Na velkostroji SchRs 1550 používáme pro venkovní osvětlení tato svítidla: závěsná pryžová svítidla typu LEO, vaničkové svítidla typ TUB a světlomety (reflektory) typu HALSPOT I nebo II a kruhové výbojkové světlomety.

4.2.1. Závěsné pryžové svítidlo LEO

Podél všech pochůzných lávek kolem pasů a všude tam, kde to konstrukce stroje umožňuje, je k běžnému venkovnímu osvětlení užito pryžového svítidla typu LEO s průhledným makrolonovým krytem. Svítidlo vyrobené ve stupni krytí IP 54 je určeno pro jmenovité napětí 230 V/50Hz pro světelné zdroje do příkonu 160W s paticí E27 (např. směšové výbojky ML 160W).



Obrázek 11 - Závěsné pryžové svítidlo LEO[10]

Svítidla se montují na sklopný závěsný hák na prodloužené stožárky přes pryžové úchyty pro zmenšení vlivu otřesů.



Obrázek 12- Uchycení na stožárku

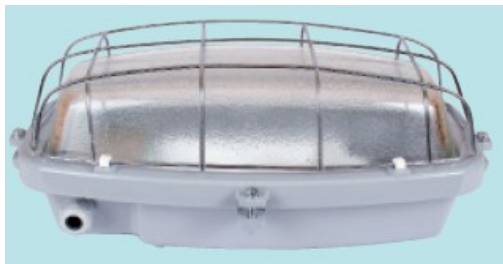


Obrázek 13 – Rozmístění podél ochozů

Hlavními nevýhodami jsou časté znečištění, zabarvení krytu (difuzoru) vlivem klimatických změn (kondenzace vodních par ve vnitřním prostoru svítidla) a stárnutím materiálů a tím dochází k menší propustnosti světelného toku.

4.2.2. Vaničkové svítidlo TUB

Tam, kde konstrukční řešení neumožňuje použití závěsného svítidla (nízké profily, žebříky), je použito vaničkových svítidel TUB se skelným krytem. Je vyrobeno ve stupni krytí IP 65 pro jmenovité napětí 230V / 50Hz. Těleso i příruba jsou odlitky ze slitiny AlSi povrchově upraveny práškovou barvou. Svítidla jsou upevněna na připravených konstrukcích pomocí silentbloků pro snížení chvění. Jsou použita i pro orientační a nouzová osvětlení.



Obrázek 14- Vaničkové svítidlo TUB[11]



Obrázek 15 – Uložení v zábradlí

4.2.3. Světlomety HALSPOT I a II

Pro hlavní osvětlení prostoru před kolesem rypadla, tedy zorného pole řidiče rypadla a také všech míst, kde je potřeba většího osvětlení, jako jsou přesypy jednotlivých pasů a terén před každým housenicovým podvozkem, jsou instalovány světlomety typu HALSPOT od firmy Elektrosvit Svatobořice. Jedná se o světlomet se stupněm krytí IP 65 pro jmenovité napětí 230V / 50Hz. Světelným zdrojem těchto svítidel jsou halogenové lineární žárovky 1000W nebo 1500W.



Obrázek 16 - Světlomet HALSPOT I [11]



Obrázek 17 - Světlomet HALSPOT II [11]

4.3. Požadavky na osvětlování vnějších prostorů

V požadavcích na celkové osvětlení vnějších prostorů objektů v uhelných lomech jde hlavně o bezpečnost, zejména z pohledu možného rizika úrazu a zrakovou pohodu z hlediska zrakové náročnosti osob. Je možné přihlídnout rovněž k hospodárnosti provozu, pohybu osob apod.

Osvětlení strojů se provádí ze samostatného zdroje, aby zůstalo v provozu, je-li silový rozvod pro pohony bez napětí. Světelný rozvod, rozmístění a dimenzování světelných zdrojů se volí tak, aby byly dodrženy níže uvedené intenzity a rovnoměrnosti osvětlení specifikovaných míst na strojích a aby bylo vyloučeno nebezpečné oslnění.[12, 13]

Hodnoty intenzity celkového osvětlení (osvětlenosti) pro technologický celek TC podle normy povrchových dolů NPD 31-6-61 jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 - Požadavky na osvětlení pro vnější prostory TC dle NPD 31-6-61

Vnější prostory	Min. osvětlení E (lx)	Max. součinitelé oslnění (neobvyklý pohled)	Min. rovnoměrnost $E_{\min} : E_{\max}$
Řezy pro dobývání hornin	25	200	1:6
Venkovní prostory TC	20 až 30	200	1:6

Hodnoty intenzity místního osvětlení (osvětlenosti) pro pracovní činnost dle NPD 31-6-61 jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 - Požadavky na osvětlení pro pracovní činnost dle NPD 31-6-61

vnější prostory	Min. osvětlení E (lx)	Max. součinitelé oslnění (neobvyklý pohled)	Min. rovnoměrnost $E_{\min} : E_{\max}$
Práce bez rozlišování podrobností	4 až 10	200	1:8
Práce s rozlišováním podrobností	160	150	1:6

Dle České technické normy ČSN 34 1638 – Elektrická zařízení těžební technologie pro povrchové dobývání jsou hodnoty intenzity osvětlení na velkstroji uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 – Intenzita osvětlení na velkstroji dle ČSN 34 1638

Prostor	Intenzita osvětlení lx	Kontrolní plocha	Rovnoměrnost E_{\min} / E_{\max}
1	2	3	4
venkovní pracoviště před řeznými orgány strojů nebo na výsypce	25	pracovní rovina	1 : 6
dílny, rozvodny, celkové osvětlení	160	srovnávací rovina	1 : 3
strojovny apod., celkové osvětlení	60	srovnávací rovina	1 : 5
kabina pro obsluhu, celkové osvětlení	60	pracovní rovina	1 : 5
kontrolní a signální prvky mimo kabinu pro obsluhu	25	rovina přístrojů	-
nouzové osvětlení ve vnitřních prostorech	0,5	na podlaze	-
nouzové osvětlení ve venkovních prostorech	0,2	-	-
venkovní komunikace - cesty	2	úroveň terénu	1 : 10
venkovní pracovní prostory	4 až 10	úroveň terénu	1 : 8

Osvětleny musí být všechny části stroje, kde je to třeba pro bezpečné sledování jeho funkce a pro bezpečný pohyb obsluhujících pracovníků (v souladu s návodem k obsluze). Tam, kde není možno namontovat pevná svítidla, umísťují se zásuvky pro ruční svítidla.[13]

Velkstroje musí být vybaveny nouzovým osvětlením dimenzovaným na provoz po dobu nejméně 3 hodin. Nouzovým osvětlením musí být vybaveny rozvodny, únikové cesty, ovládací místa stabilního hasícího zařízení a další místa určená konstruktérem stroje.[13]

5. Možnosti využití LED pro osvětlování rypadel

Veškeré neduhy a problémy současného osvětlení rypadla, jimiž jsou přepálená wolframová vlákna výbojek nebo žárovek, uklepané patice výbojek, vyhřáté kontakty patic světlometů a neustále znečištěné průsvitné kryty svítidel, vedou ke snaze vyměnit stávající svítidla za bezúdržbová.

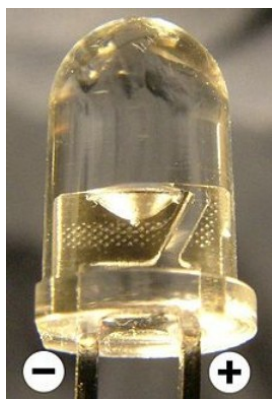
Je pochopitelné, že svítidla pro osvětlování nebudou nikdy zcela bezúdržbová. Existují dnes ovšem možnosti, jak provozovat svítidla bez větších nároků na provoz a údržbu. Těmito možnostmi jsou svítidla se světelnými diodami – LED (light emitting diode).

5.1. Světelné diody (LED)

LED (z anglického *Light-Emitting Diode* - dioda emitující světlo) je elektronická polovodičová součástka obsahující přechod P-N. Na rozdíl od klasických diod, LED vyzařuje viditelné světlo, infra, případně UV v úzkém spektru barev a používá se v široké řadě aplikací.

Prochází-li přechodem elektrický proud v propustném směru, přechod vyzařuje (emituje) nekoherentní světlo s úzkým spektrem. Může emitovat i jiné druhy záření. Tento jev je způsoben elektroluminiscencí.

Pásmo spektra záření diody je závislé na chemickém složení použitého polovodiče. LED jsou vyráběny s pásmy vyzařování od ultrafialových, přes různé barvy viditelného spektra, až po infračervené pásmo.[14]



Obrázek 18 - Světelná dioda LED[14]



Obrázek 19 - Výkonová LED firmy Cree XML

Výhody světelných diod:

- Produkují více světelného toku na 1W příkonu než žárovky (nejmodernější přes 100 lm/W), mají vyšší účinnost.
- Mohou vyzařít světlo v požadované barvě bez použití složitých barevných filtrů.
- Jejich pouzdro může být navrženo k soustředění světla na určité místo. Světelné tepelné (žárovky) a fluorescenční (zářivky) většinou potřebují k soustředění světla vnější optickou soustavu.
- V zařízeních, kde potřebujeme funkci „stmívání“ nemění svou barvu při snížení napájecího proudu, na rozdíl od žárovek, které při snížení napájení vydávají žlutější světlo.
- Jsou odolné vůči nárazům.
- Jsou ideální na použití v zařízeních, kde dochází k častému vypínání a zapínání zařízení, na rozdíl od žárovek, které mohou při častém zapínání a vypínání snadno shořet.
- Mají extrémně dlouhou životnost.
- Velice rychle se rozsvítí.
- Jsou velice malé a snadno mohou být osazeny do desky plošných spojů.
- Neobsahují rtuť (na rozdíl od zářivek)
- Jsou ekologičtější, nepotřebují složitou likvidaci, jako je tomu u vyhořelých výbojkových zdrojů [14]

Nevýhody světelných diod:

- Podstatně vyšší pořizovací náklady (hlavně u netypických svítidel)
- Výkonnost hodně závisí na teplotě okolního prostředí. Používání LED na hranici proudových specifikací může vést k přehřátí pouzdra LED diody a k následnému selhání zařízení. V případě vyšších teplot se musí zajistit dostatečné chlazení. To je obzvláště důležité v automobilech a zařízeních pro vojenské nebo lékařské účely, které musí fungovat v širokém rozsahu teplot a jsou na nich kladeny vysoké požadavky na spolehlivost.
- Musí být napájeny správným proudem
- Obvykle vyzařují světlo jen v úzkém paprsku v jednom směru.
- Světlo z bílých LED diod může zkreslovat barvy [14]

Aplikace s dnes již častým využitím LED:

- Architektonická osvětlení
- Dopravní světla a značení
- Označování nouzových východů
- V ručních svítilnách
- Ve svítlidlech a světlometech automobilů, motocyklů, jízdních kol
- Jako podsvícení pro LCD televize a displeje [14]

Historie LED

- 1907 – Henry Joseph Round učinil průkopnický objev elektroluminiscence (jevu, při němž dochází k přeměně elektrické energie ve světlo při průchodu proudu vhodným materiálem)
- 1962 – Nick Holonyak jr. vyvinul první LED diodu
- 1971 – objev zelené, oranžové a žluté barvy LED diod, což umožnilo daleko širší použití těchto zdrojů světla jako signalizátorů různých stavů zařízení apod. v drahých přístrojích a zařízeních.
80. léta – rozmach LED diodových technologií, vyrábí se LED displeje, začaly se vyrábět i první LED žárovky (barevné dekorativní „bludičky“)
- 1993 – na trhu se objevily první modré vysocesvítivé LED diody
- 1995 – podařilo se vyrobit první bílou diodu bez použití tří různobarevných čipů, tedy první bílou LED s jedním čipem s využitím luminoforu. Tento typ otevřel cestu ke konstrukci první smysluplné LED žárovky

Energetická účinnost

Pro posuzování energetické účinnosti se u světelných zdrojů používá tzv. **měrný výkon η** (lm/W, viz. kapitola 2.1. Základní veličiny). Pro posouzení stávajícího stavu jsou v tabulkách 5 a 6 uvedeny hodnoty měrných výkonů sériově vyráběných bílých LED a běžných světelných výbojových zdrojů.

Tabulka 5 - Parametry vybraných typů LED zdrojů 1W(350mA) [15]

Barva světla	Výrobce	Typ	Parametry		
			P_D (W)	Φ (lm)	η (lm/W)
Chladně bílá	Cree	XP-G	1.05	139	132
	Nichia	Top Emitting	1.16	130	113
	Osram	Golden dragon plus	1.12	130	116
	Philips	Rebel	1.05	105	130
Neutrálně bílá	Cree	XP-G	1.05	130	124
	Osram	Golden dragon plus	1.12	130	116
	Philips	Rebel	1.05	105	125
Teple bílá	Cree	XP-G	1.05	107	102
	Nichia	Top Emitting	1.16	95	82
	Osram	Golden dragon plus	1.12	97	87
	Philips	Rebel	1.05	73	81

Tabulka 6 - Parametry výbojových světelných zdrojů[3]

Druh světelného zdroje	Příkon (W)	Měrný výkon ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)
Žárovka	15 – 200	6 – 15
Halogenová žárovka	10 – 2000	14 – 26
Kompaktní zářivka	5 – 60	56 – 88
Lineární zářivka T8	10 – 58	65 – 90
Lineární zářivka T5	14 – 80	70 – 104
Indukční výbojky	50 – 400	70 – 93
Rtuťová výbojka	50 – 1 000	50 – 80
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 – 1 000	88 – 150
Halogenidová výbojka	35 – 3 500	94 – 103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18 – 180	130 – 200
Světelné diody	1 – 20	až 140
Xenonová výbojka	25 - 10 000	až 95
Plazmový světelný zdroj	až 250	až 85

Porovnáním měrných výkonů v tabulkách 5 a 6 je zřejmé, že světelné diody již v dnešní době mají srovnatelný měrný výkon jako výbojové zdroje běžně používané ve veřejném osvětlení. Měrný výkon světelných diod se však významně zvětšuje každý rok (pro zajímavost: společnost Cree oznámila v květnu 2011 prototyp bílé LED diody, která dokáže vyžářit 238 lumenů na Watt při spotřebě proudu 350 mA, což je téměř 14 krát více, než dokáže při stejné spotřebě žárovka).

V dnešní době, všechny firmy zabývající se výrobou světelných zdrojů a svítidel, mají v nabídce již několik variant LED zdrojů, jako přímou náhradu žárovek, několik nových typů svítidel s technologií LED, jako jsou svítidla interiérová, svítidla pro veřejné osvětlování a také několik druhů světlometů s LED.

Příklady LED svítidel a světelných zdrojů na trhu:



Obrázek 20 – Příklad LED světlometu



Obrázek 21- LED světlomet PHILIPS



Obrázek 22 – Příklad LED světelného zdroje jako náhrada za klasickou žárovku



Obrázek 23 – LED žárovka 40W jako náhrada za 150W



Obrázek 24 – Příklad průmyslového LED svítidla 150W



Obrázek 25 – Příklad LED svítidla pro pouliční osvětlení

5.2. Návrh osvětlení pomocí LED svítidel

5.2.1. Kritéria pro výpočet

Pro správný návrh osvětlení bylo nejprve nutné spočítat současný stav osvětlenosti na rypadle. Pro výpočet byly zvoleny prostory na rypadle, které jsou nejdůležitější z hlediska výkonu zrkovéhoho úkolu na velkosti a to: prostor před kabinou řidiče
pochůzná lávka na rypadle

Optimální postup výpočtu vhodný pro konkrétní vnější prostor určuje NPD 31-6-63. Dle normy povrchových dolů NPD 31-6-61 jsou všechny technologické celky v uhelných lomech ve smyslu stavebního zákona liniovými stavbami a je pro ně nejvhodnější „**bodová metoda**“ výpočtu osvětlení.

Při správném výpočtu osvětlení vnějších prostorů v uhelných lomech je nutno rovněž uvažovat součinitele oslnění UGR a udržovacího činitele MF.

Bodová metoda výpočtu

Bodovou metodou se v určitém kontrolním místě stanovují světelně technické veličiny charakterizující světelné pole uvažovaných svítících prvků. Nejčastěji se bodovou metodou řeší přímé složky osvětlenosti pracovních rovin, střední kulové či válcové osvětlenosti a složky světelného vektoru. Výpočtem zmíněných veličin v řadě kontrolních míst se získává úplnější a přehlednější obraz o rozložení hladin té které veličiny a tedy i o její rovnoměrnosti v daném prostoru. Z hlediska různorodosti umístění pracovních míst je důležité, že bodová metoda umožňuje kontrolu osvětlenosti, popřípadě, jsou-li známy odrazné vlastnosti povrchu míst zrakových úkolů i jasů, nejen v bodech vodorovných, ale i svislých a nakloněných rovin. Hodnoty světelně technických veličin stanovené bodovou metodou odpovídají vždy jen hodnotám světelných toků, které dopadají přímo z uvažovaných zdrojů či svítidel na osvětlované plochy. V takto získaných výsledcích není tedy zahrnut vliv světelných toků odražených od světelně činných ploch v daném prostoru. Nicméně bodovou metodou lze však v kontrolních bodech stanovit i hodnoty světelně technických veličin, které odpovídají zmíněným sekundárním zdrojům (např. stropu a stěnám), jsou-li známy nebo zjištěny jejich vyzařovací charakteristiky. [2]

K výpočtu byla provedena simulace uvedených prostorů v softwaru RELUX, vhodného pro výpočet osvětlení. Verze tohoto programu je freeware a tak neobsahuje všechny funkce, ale pro náš výpočet bude dostačující. Jedná se o program, který provádí simulaci osvětlování vnitřních prostorů a vnějších projektů založených na EN 12464, nouzového osvětlení založeného na EN 1838, projektování komunikací podle EN 13201 a sportovišť podle CIE. Program obsahuje v databázi více než 300 000 svítidel a senzorů, rozsáhlé knihovny nábytku, materiálů a textur.

Dalšími podobnými programy pro výpočet osvětlení jsou např. DIALUX nebo WILS

5.2.2. Výpočet osvětlení před kabinou řidiče

K osvětlování prostoru před kabinou řidiče je použito dvou kusů světlometu HALSPOT II s lineárními žárovkami HALOLINE 1500W, které jsou umístěny při pravé dolní rohu kabiny řidiče cca 2m nad pojezdovou rovinou rypadla (kabina je ve své dolní poloze) a jedním světlometem typu HALSPOT I s lineární žárovkou 1000W umístěným na špičce kolesového pasu ve výšce cca 6m nad pojezdovou rovinou. Pracovní vertikální rovinou pro měření je v tomto případě odtěžovaný materiál, který je ve vzdálenosti cca 9m před kabinou řidiče rypadla. Pro bližší názornost viz následující obrázky 26 a 27.

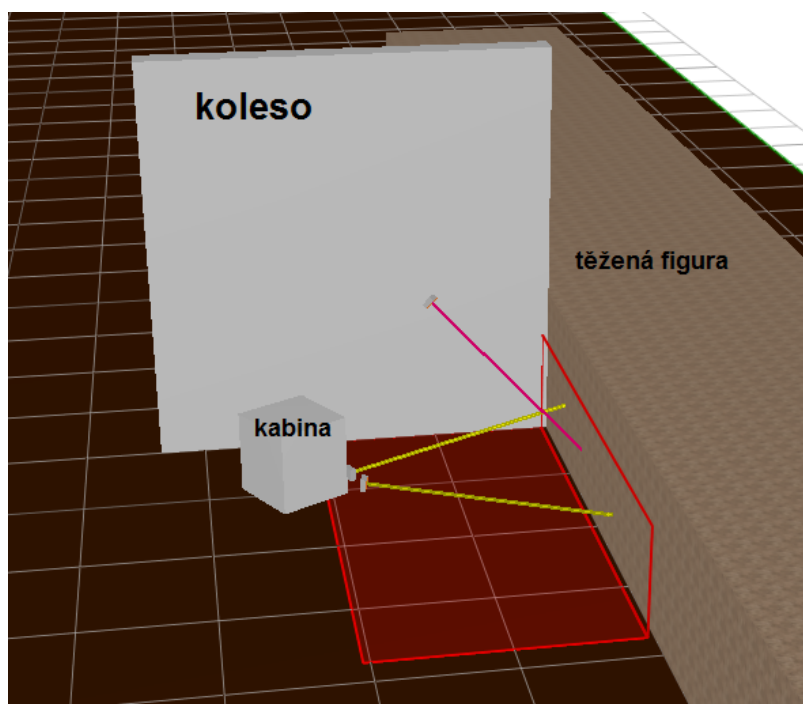


Obrázek 26 – Světlomety před kabinou řidiče

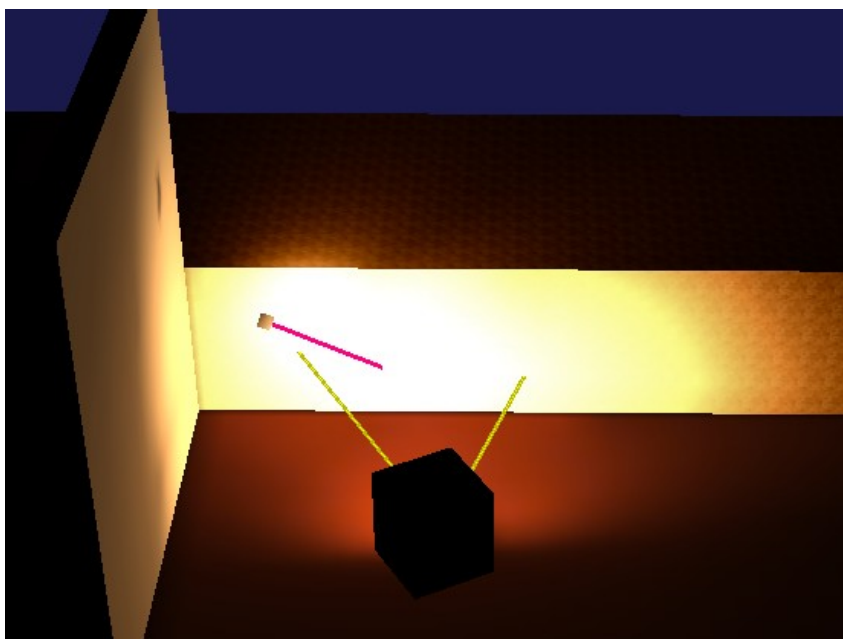


Obrázek 27 – Světlomet na špičce kolesového pasu

Simulace v RELUXU:



Obrázek 28- Zobrazení prvků v simulaci



Obrázek 29 - Zobrazení s rozsvícenými světlomety

Výstupní hodnoty:

Obecně

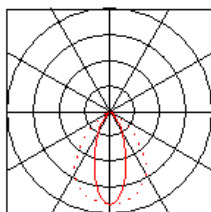
Použitý algoritmus výpočtu	centrální podíl nepřímé složky s barvami světla
Výška hodnotící plochy	0.00 m
Udržovací činitel	0.70
Celkový světelný tok všech zdrojů	88000 lm
Celkový výkon	4000 W
Celkový výkon na ploše (7500.00 m ²)	0.53 W/m ²

Intenzity osvětlení

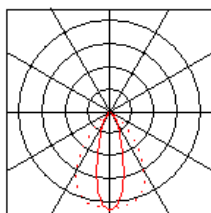
Udržovaná osvětlenost	Em	159 lx
Minimální osvětlenost	E _{min}	6 lx
Maximální osvětlenost	E _{max}	541 lx
Rovnoměrnost g1	E _{min} /E _m	1:26.3 (0.04)
Rovnoměrnost g2	E _{min} /E _{max}	1:89.5 (0.01)

Performance in Lighting

Objednací č.	: I01882011
Název svítidla	: HALSPOT II
Osazení	: 1 x HDG-O12 R7s-15 1500 W / 33000 lm 3100K



Objednací č.	: I01717011
Název svítidla	: HALSPOT I
Osazení	: 1 x HDG-Ø12 R7s-15 1000 W / 22000 lm 3000K

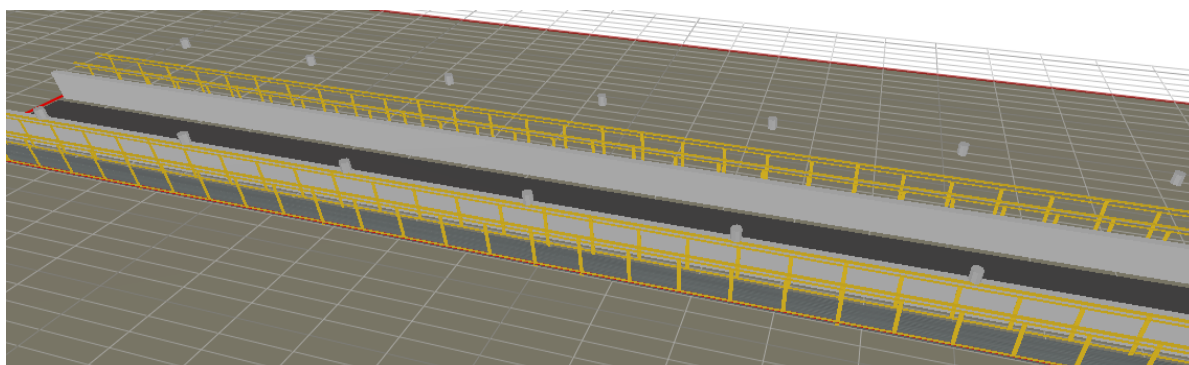


Z vypočítaných hodnot vyplývá, že již současný stav osvětlení světlomety HALSPOT není úplně vhodný, zvláště s přihlédnutím na vypočítané hodnoty rovnoměrnosti, kde by hodnota E_{\min}/E_{\max} měla být min v poměru 1:6.

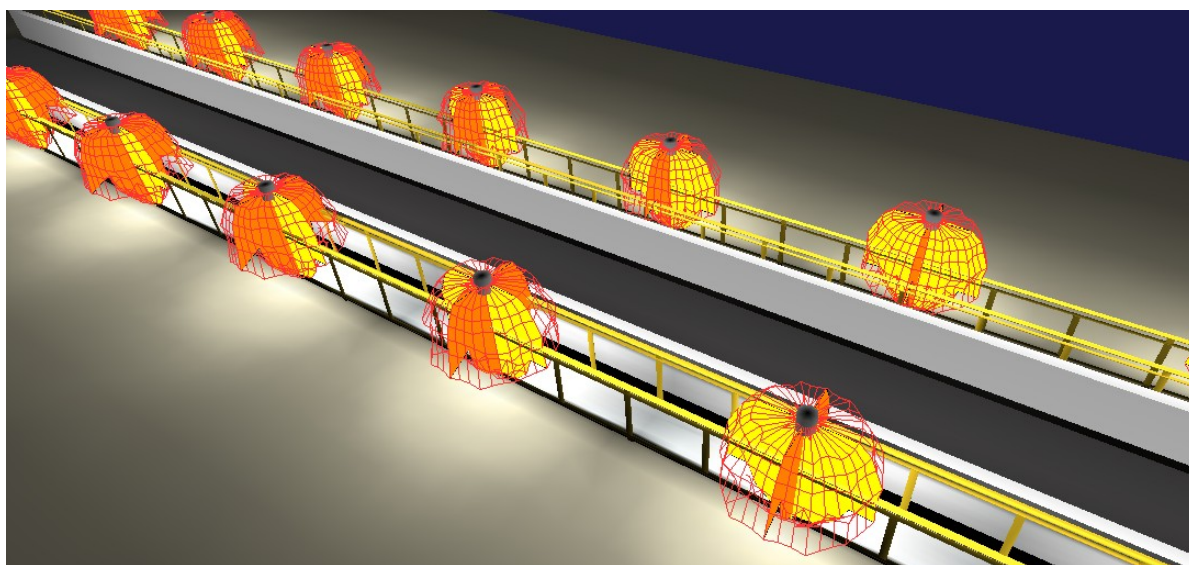
5.2.3. Výpočet osvětlení pochůzných cest

Osvětlování pochůzných cest kolem jednotlivých pasových dopravníků a veškerých přístupových cest na rypadle je tvořeno převážně závěsnými pryžovými svítidly LEO, jejichž zdrojem jsou směšové výbojky 160W. Tato svítidla, jsou zavěšena vně pochůzných lávek na stožárcích, připevněných k zábradlí viz obrázek 13. Rozestup mezi svítidly je 5m a jsou zavěšena ve výšce 2m nad ochozem.

Jako element pro výpočet v RELUXU bylo použito celkem 22 svítidel na dopravníku 60m dlouhém s ochozy po obou stranách širokými 80cm, což přibližně odpovídá např. kolesovému pasu (na SchRs 1550 označovaný jako pas C1).

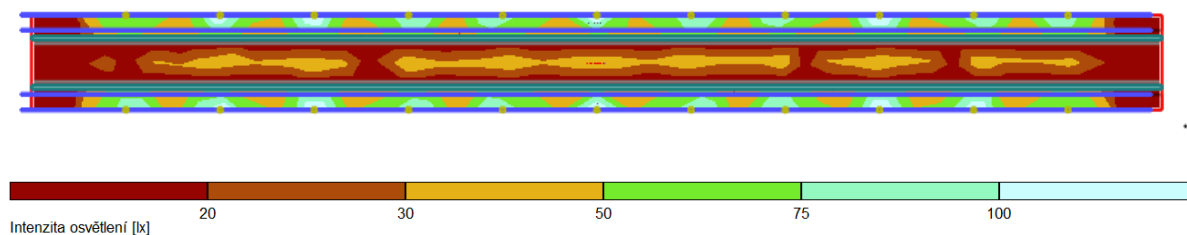


Obrázek 30 - RELUX - pohled na část dopravníku s ochozy a svítidly



Obrázek 31 - RELUX – část dopravníku - rozsvícená svítidla + zobrazení křivek svítivosti

Výstupní hodnoty:



Obrázek 32 - Rovnoměrnost osvětlenosti

Obecně

Použitý algoritmus výpočtu	centrální podíl nepřímé složky s barvami světla
Výška hodnotící plochy	0.10 m
Udržovací činitel	0.70
Celkový světelný tok všech zdrojů	69300 lm
Celkový výkon	3520 W
Celkový výkon na ploše (2000.00 m ²)	1.76 W/m ² (4.20 W/m ² /100lx)

Intenzity osvětlení

Udržovaná osvětlenost	Em	41.9 lx
Minimální osvětlenost	Emin	5.1 lx
Maximální osvětlenost	Emax	75.6 lx
Rovnoměrnost g1	Emin/Em	1:8.3 (0.12)
Rovnoměrnost g2	Emin/Emax	1:15 (0.07)

Typ Č. výrobce

1	22	Beghelli	
		Objednací č.	: !40-011/115/+Y
		Název svítidla	: Leo
		Osazení	: 1 x Incandescent lamp 160W / 3150 lm RGB 1,00 1,00 1,00

Dle vypočítaných hodnot udržované osvětlenosti a hodnoty rovnoměrnosti osvětlení se dá prohlásit, že svítidla v tomto ohledu relativně vyhovují.

5.2.4. Zásady pro výběr LED svítidla

Kromě efektivní distribuce světla je u LED zdroje zásadní otázkou jeho účinné chlazení.

Nejdůležitější vlastnosti LED svítidla lze shrnout následovně:

- Použití nejlepších LED čipů od renomovaného prvovýrobce, např. Cree, Lumileds.
- Chladit zásadně pasivně! Aktivní chlazení ventilátorem je místem potencionální poruchy a zvyšuje spotřebu energie.
- Tělo svítidla vyrobené z tepelně vodivého materiálu pro dokonalé pasivní chlazení – ideálně hliník.
- Tenký tvar svítidla s velkou plochou – opět kvůli pasivnímu chlazení.
- Samočisticí tvar - hladká vrchní část svítidla se sklonem pro přirozené omývání vrchní chladicí plochy dešťovou vodou. To umožňuje samočinné čištění od ptačího trusu, prachu a dalších nežádoucích vrstev omezujících účinné chlazení svítidla.
- Buzení LED čipů nízkou proudovou hodnotou – zajistí vyšší efektivitu po stránce měrného výkonu (lm/W) a dlouhou životnost.
- Každá LED osazena speciální optikou vyvinutou s ohledem na výslednou požadovanou distribuci světla (světelné technické parametry) a na stupeň IP a IK ochrany.
- Výrobce musí být schopen sdělit technické parametry, včetně fotometrií. [16]

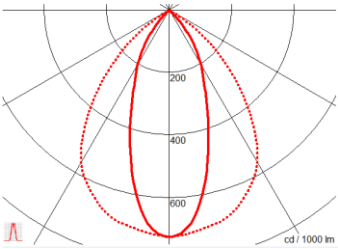
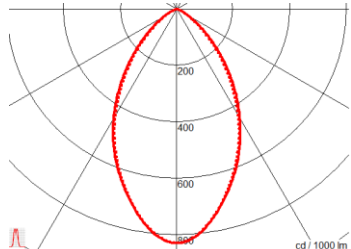


5.2.5. Výběr LED svítidla pro osvětlování prostoru před kabinou řidiče

Při hledání vhodné LED náhrady za světlomety HALSPOT pro osvětlování prostoru před kabinou řidiče jsem dbal, aby měrný výkon světelného zdroje byl minimálně stejný nebo vyšší než u stávajícího světelného zdroje, stejně tak na podobný nebo lepší tvar křivky svítivosti a celkový vzhled a tvar svítidla. Výběr byl omezen jen na renomované výrobce značek, jako jsou Philips lighting, Performance in lighting, INDAL, THORN lighting CS, OSRAM, AEC illuminazione apod., kteří ke svým výrobkům zveřejňují veškeré technické údaje potřebné pro výpočet.

Mezi jednotlivými výrobky jsem vybral světlomet **eW Reach Powercore** firmy PHILIPS lighting, který je spíše určený k osvětlování budov či velkých ploch, ale jeho parametry by mohly vyhovovat.

K porovnání parametrů stávajícího světlometu s LED světlometem slouží tabulka 7.

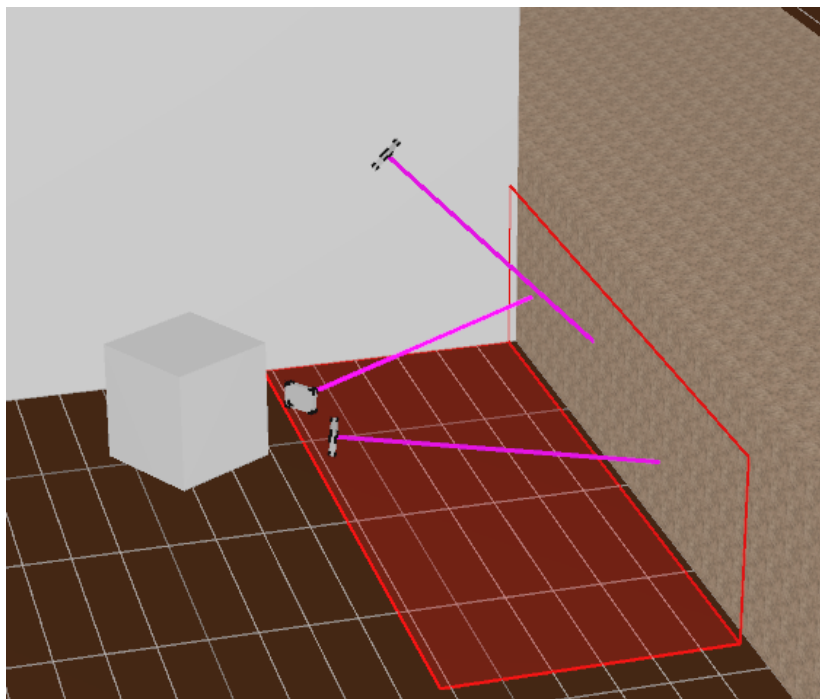
Tabulka 7- Porovnání světlometů

	HALSPOT II	eW Reach Powercor (DCP771)
Účinnost svítidla [%]	80,8	100
Měrný (světelný) výkon [lm/W]	17,78	38,61
Celkový příkon svítidla [W]	1500	250
Světelný tok [lm]	33000	9652
osazení	1x HDG-O12 R7s-15	104xLED-HB
Barva světla [K]	2900	4000
Křivky svítivosti		
obrázek		

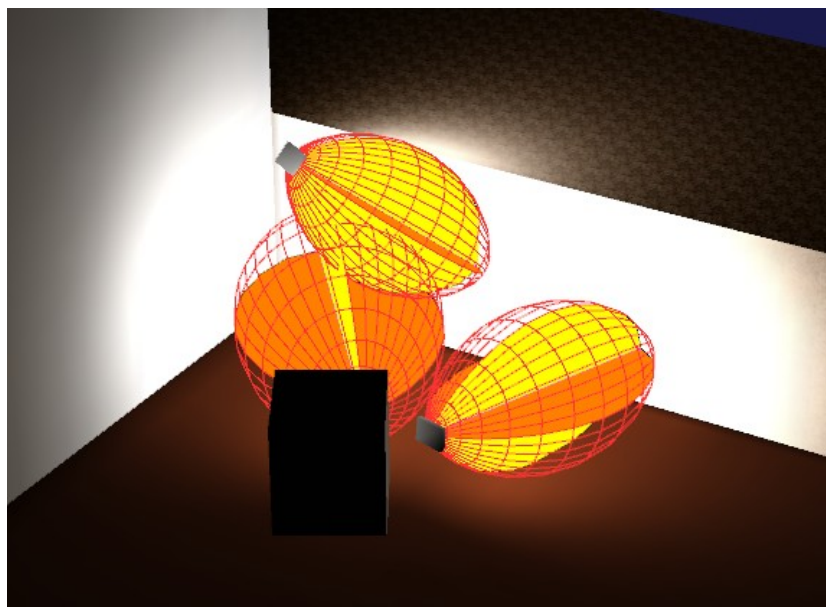
5.2.6. Výpočet osvětlení před kabinou řidiče pomocí LED

K výpočtu v programu RELUX bylo uvažováno výše uvedeného LED svítidla eW Reach Powercor (DCP771) od firmy Philips. 3ks svítidel bylo umístěno na stejných pozicích a ve stejných vzdálenostech.

Simulace v RELUXU:



Obrázek 33 - Umístění a směřování LED světlometů



Obrázek 34 - Zobrazení s křivkami vyzařování

Výstupní hodnoty:

Obecně

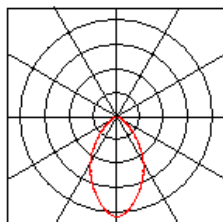
Použitý algoritmus výpočtu	centrální podíl nepřímé složky
Výška hodnoticí plochy	0.00 m
Udržovací činitel	0.70
Celkový světelný tok všech zdrojů	28956 lm
Celkový výkon	750 W
Celkový výkon na ploše (7500.00 m ²)	0.10 W/m ² (0.12 W/m ² /100lx)

Intenzity osvětlení

Udržovaná osvětlenost	Em	82 lx
Minimální osvětlenost	E _{min}	6 lx
Maximální osvětlenost	E _{max}	184 lx
Rovnoměrnost g ₁	E _{min} /E _m	1:14.5 (0.07)
Rovnoměrnost g ₂	E _{min} /E _{max}	1:32.6 (0.03)

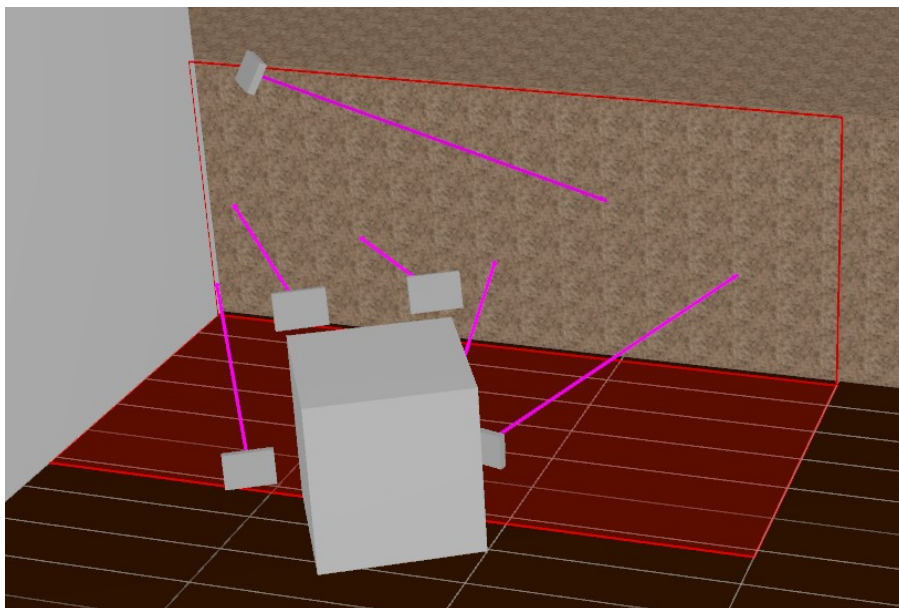
Typ Č. výrobce

4	3	Philips/2012-04-20 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00
		Objednací č. :
		Název svítidla : DCP771 +ZCP770 BSP A63
		Osazení : 104 x LED-HB-4000 / 92.8077 lm

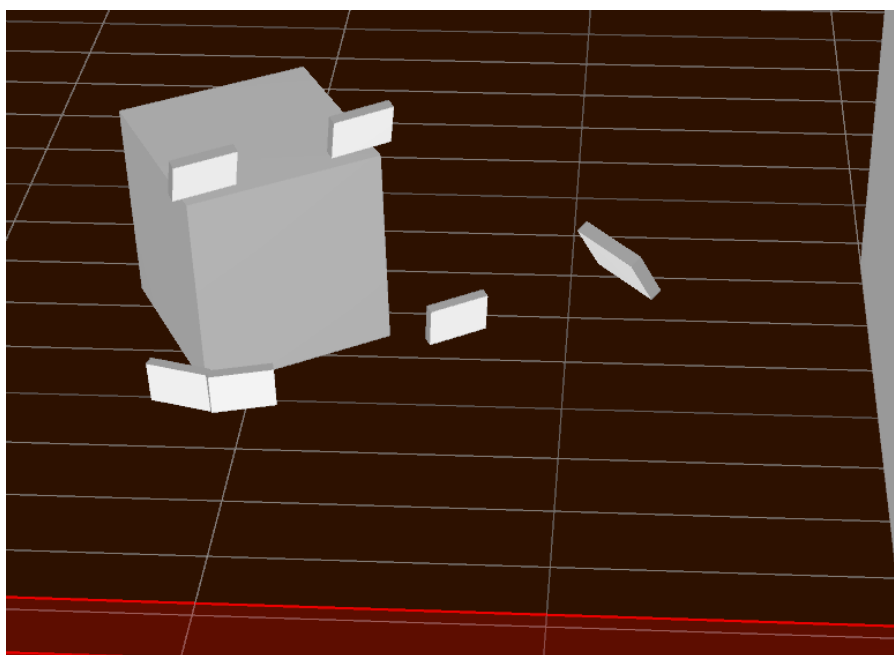


Z uvedených výsledků vyplývá, že LED svítidla by nevyhověla v minimální osvětlenosti požadované pro výkon práce s rozlišováním podrobností ani z hlediska minimální rovnoměrnosti osvětlenosti, kde je požadováno E_{\min}/E_{\max} alespoň 1/6.

Daleko lepších výsledků ovšem bylo dosaženo při použití dalších tří, celkem tedy šesti LED panelů eW Reach Powercore, lépe rozmístěných a s lepším nasměrováním dle následujících obrázků:



Obrázek 35 - Rozmístění LED světlometů



Obrázek 36 - Čelní pohled rozmístění LED světlometů

Výstupní hodnoty:

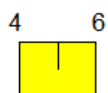
Obecně

Použitý algoritmus výpočtu	centrální podíl nepřímé složky
Výška hodnotící plochy	0.00 m
Udržovací činitel	0.70
Celkový světelný tok všech zdrojů	57912 lm
Celkový výkon	1500 W
Celkový výkon na ploše (7500.00 m2)	0.20 W/m2 (0.12 W/m2/100lx)

Intenzity osvětlení

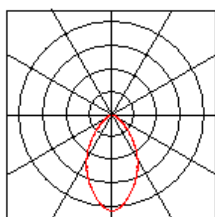
Udržovaná osvětlenost	Em	165 lx
Minimální osvětlenost	Emin	35 lx
Maximální osvětlenost	Emax	281 lx
Rovnoměrnost g1	Emin/Em	1:4.74 (0.21)
Rovnoměrnost g2	Emin/Emax	1:8.07 (0.12)

Typ Č. výrobce



Philips/2012-04-20 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00

Objednací č. :
Název svítidla : DCP771 +ZCP770 BSP A63
Osazení : 104 x LED-HB-4000 / 92.8077 lm



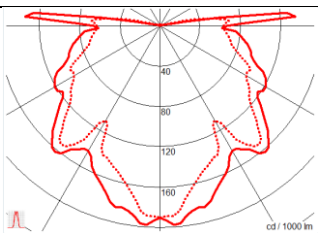
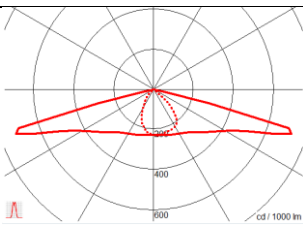


Z výsledků výpočtu je vidět, že vhodným počtem a rozmístěním LED panelů, jsme schopni splnit požadovanou osvětlenost a výrazně zlepšit i rovnoměrnost osvětlenosti. To vše při celkovém příkonu stejném, jako má jeden světlomet typu HALSPOT II.

5.2.7. Výběr LED svítidla pro osvětlování pochůzných cest

Pro návržení LED osvětlení pochůzných cest jsem čerpal z pestré nabídky LED svítidel pro pouliční osvětlování již zmíněných renomovaných firem. Pro další výpočet jsem zvolil opět firmu Philips a svítidlo “**Mini Iridium LED“ typ BGS451 1xECO43-2S/740 MSO**, které mě zaujalo malým příkonem (41 W), celkem širokou křivkou vyzařování a servisním životem zdroje až 85000 hodin.

Iridium je řada svítidel pouličního osvětlení zkonstruovaná pro tři hlavní typy použití – obytné zóny a menší silnice; hlavní silnice a dálnice. Modularita těchto svítidel umožňuje integraci optických či elektronických prvků, s jejichž pomocí se přizpůsobí měnícím se nárokům na pouliční osvětlení, např. rostoucí poptávce po bílém světle. Řada Iridium zajišťuje nízké náklady na provoz díky své vynikající optice, funkci tlumení a dálkového řízení Telemanagement a snadnosti instalace a údržby. Řada svítidel Iridium obsahuje verze umožňující použití světelných zdrojů CosmoPolis a LED. Svítidla se dodávají se ve čtyřech různých velikostech – pro montážní výšky od 3,5 do 12 metrů – a jsou vhodná pro montáž s bočním vstupem i na vrchol sloupu. Kompletní nabídka konzol zajišťuje vizuální soudržnost mezi sloupem a jemně zaobleným svítidlem, čímž z řady Iridium činí celkové řešení. Každé svítidlo Iridium je plně recyklovatelné; pouze světelný zdroj a předřadník je třeba recyklovat zvlášť.[9]

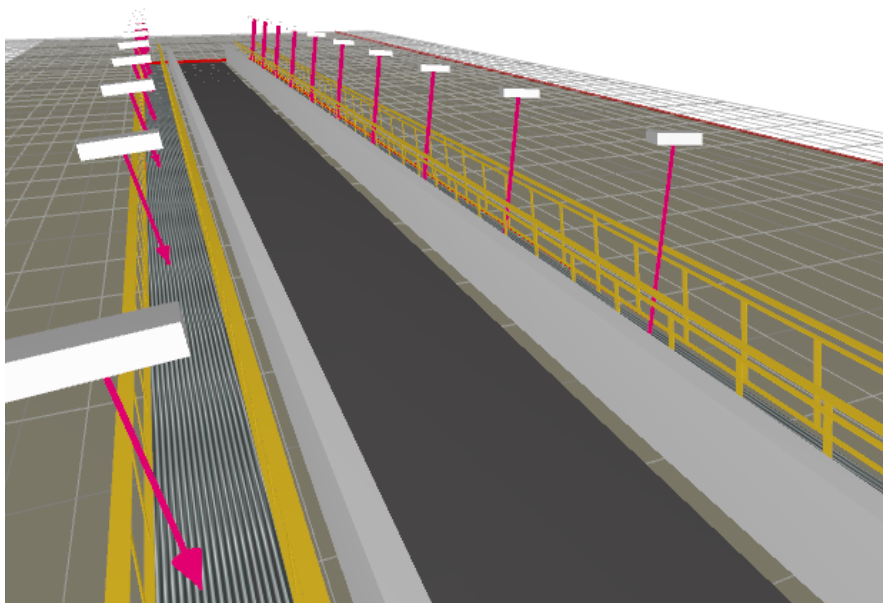
Tabulka 8 - Porovnání svítidel pro pochůzná lávky

	LEO	Mini Iridium LED (1xECO43-2S/740)
Účinnost svítidla [%]	76,81	77
Měrný (světelný) výkon [lm/W]	15,12	79,74
Celkový příkon svítidla [W]	160	41
Světelný tok [lm]	3150	4246
osazení	např. směs. výbojka ML 160W	1xECO43-2S/740
Barva světla [K]		4000
Křivky svítivosti		
obrázek		

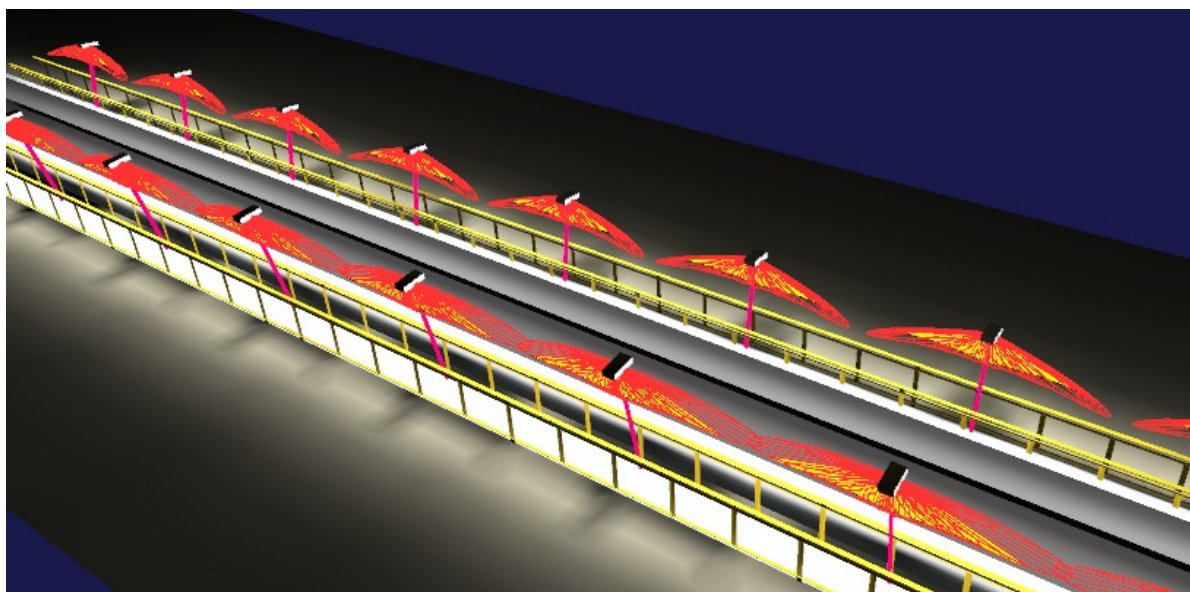
5.2.8. Výpočet osvětlení se svítidly Mini Iridium LED

Ve výpočtu je opět uvažován jako element dopravník 60m dlouhý, kde je na každé jeho straně použito celkem 12 kusů svítidel Mini Iridium LED se světelným zdrojem 1xECO43-2S/740 jenž by byla připevněna na původní stožárky s rozestupy 5m. Výška svítidel je tedy nastavena na hodnotu 2,5m nad srovnávací rovinou, kterou jsou kovové rošty (ochozy), tvořící pochůzní lávky.

Simulace v RELUXU:

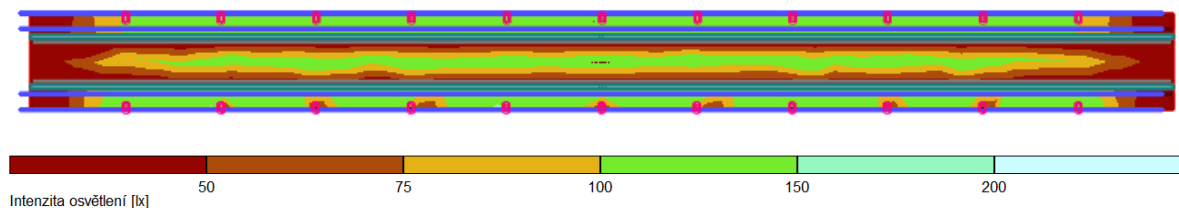


Obrázek 37 – LED svítidla s šipkami směru vyzařování



Obrázek 38 – Zobrazení LED svítidel s křivkami vyzařování

Výstupní hodnoty:



Obrázek 39 - Rozložení osvětlenosti

Obecně

Použitý algoritmus výpočtu	centrální podíl nepřímé složky s barvami světla
Výška hodnoticí plochy	0.10 m
Udržovací činitel	0.70
Celkový světelný tok všech zdrojů	93412 lm
Celkový výkon	902 W
Celkový výkon na ploše (2000.00 m2)	0.45 W/m2 (0.41 W/m2/100lx)

Intenzity osvětlení

Udržovaná osvětlenost	Em	110 lx
Minimální osvětlenost	Emin	32 lx
Maximální osvětlenost	Emax	143 lx
Rovnoměrnost g1	Emin/Em	1:3.48 (0.29)
Rovnoměrnost g2	Emin/Emax	1:4.52 (0.22)

Typ Č. výrobce

4	22	Philips/2012-04-20 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00
		Objednací č. :
		Název svítidla : BGS451 MSO
		Osazení : 1 x ECO43-2S/740 / 4246 lm

I zde se prokázalo, že požadavky na minimální osvětlenost vnějších prostorů technologických celků pomocí svítidel Mini Iridium Led jsou splněny.

6. Energetické a ekonomické vyhodnocení návrhu LED osvětlení

Pro energetické a ekonomické vyhodnocení bylo počítáno s výměnou všech výbojkových svítidel typu LEO zavěšených na stožárcích nebo konstrukci stroje, za LED svítidla typu Mini Iridium a všech světlometů typu HALSPOT I nebo II za stejný počet LED světlometů eW Reach Powercore, který ovšem byl navýšen o 3ks nutné pro dodržení parametrů intenzity osvětlení v prostoru před kabinou řidiče.

Pro ekonomické hodnocení byla stanovena cena 2,31Kč za 1kWh, platná pro SD a.s. pro rok 2012. Vzhledem k možnosti nasazení venkovního osvětlení na původní stožárky a nezměněnému napájení všech nových svítidel, je uvažována jen cena nových svítidel. Případná nutnost drobných úprav konstrukčního upevnění není zohledněna v ceně. V hodnocení je počítáno s dobou svícení 12 hodin/den, tedy 4380 hodin/ rok.

Cena svítidel je od výrobce (Philips) nastavena přibližně takto:

1ks Mini Iridium LED 12 000 Kč,

1ks eW Reach Powercore 100 000 Kč.

Tabulka 9 - Energetické a ekonomické zhodnocení

	osvětlení venkovní		světlomety	
	současný stav	LED varianta	současný stav	LED varianta
	LEO směšová výbojka 160W	Mini Iridium LED	HALSPOT I, II 1000W, 1500W	eW Reach Powercore
počet svítidel (ks)	210	210	21	24
příkon zdroje (W)	160	41	1250	250
celkový příkon (W)	33600	8610	26250	6000
světelný tok zdroje (lm)	3150	4246	31500	9652
světelný tok soustavy (lm)	661500	891660	661500	231648
životnost zdroje (hod)	13000	100000	2000	70000
spotřeba energie ročně (MWh)	147.168	37.7118	114.975	26.28
počet výměn světelného zdroje za rok (ks)	180	0	48	0
CENA světelného zdroje (Kč)	145	-	180	-
Náklady na pořízení svítidel (Kč)	0	2520000	0	2400000
CENA el. energie za 1 MWh	2310	2310	2310	2310
investice do oprav za rok (Kč)	26100	0	8640	0
Celkové náklady za rok (Kč)	366 058.1	87 114.3	274 232.3	60 706.8
Úspora el. energie za rok (MWh)	109.4562		88.695	
Úspora nákladů za rok (Kč)	278 943.8		213 525.5	
Úspora nákladů za 10 let (Kč) minus investice do LED osvětlení	269 438.2		-264 745.5	

Z výsledků v Tabulce 9 je zřejmé, že po energetické stránce jsou LED svítidla značně úspornější oproti stávajícímu osvětlení. V případě osvětlení pochůzných cest můžeme novým návrhem docílit až 75%, v případě světlometů až 77% úspory elektrické energie použité na osvětlování rypadla SchRs 1550. Z hlediska ekonomického je varianta tohoto návrhu nepříliš efektivní vzhledem k návratnosti nákladů až po 10 letech provozu. Ekonomická nevhodnost vznikla příliš vysokou pořizovací cenou LED svítidel, především u světlometu eW Reach Powercore, která je cca 100 000 Kč/ks.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení přínosů a negativ LED osvětlení na rypadle SchRs 1550.

Stávající osvětlení rypadla je tvořeno převážně svítidly se směšovými výbojkami a světlomety s halogenovými žárovkami, které v podmínkách povrchového dolu podléhají výraznému zkrácení jejich životnosti, ovšem správné a funkční osvětlení rypadla je důležité pro přesné a bezpečné plnění zadaných úkolů. Prvním krokem ke snížení poruchovosti osvětlovací soustavy byla výměna všech žárovkových světelných zdrojů za LED žárovky v nouzovém a orientačním osvětlení, pro které jsou menší nároky na osvětlenost. Hlavním záměrem bylo navrhnout vhodné osvětlení pro další prostory jako jsou pochůzná cesta podél pasových dopravníků na stroji a světlomety sloužící k osvětlení přesypů, pojezdů stroje a především jako hlavní osvětlení prostoru před kabinou řidiče rypadla. Vzhledem k současnému trendu snížit spotřebu elektrické energie, je snahou i toto osvětlení navrhnout pomocí LED svítidel. Práce je tedy rozdělena do několika tématických celků, ve kterých jsou podrobněji popsána svítidla s jejich světelnými zdroji a proveden návrh LED náhrad.

Pro osvětlení pochůzných cest jsem zvolil LED svítidlo od firmy Philips, které je vhodné pro pouliční a rezidentní osvětlení a jako náhradu světlometů jsem zvolil též LED svítidlo firmy Philips používané převážně pro osvětlování budov a velkých ploch. Obě tato svítidla vyhovovala svou křivkou svítivosti, dlouhou životností, výhodným měrným výkonem a snadnou údržbou. Díky jejich malé spotřebě by se dalo uspořit přibližně 200MWh elektrické energie ročně a při udávané době životnosti min. 50 000 hodin by odpadly i další náklady na jejich údržbu. Ovšem odrazujícím faktorem je příliš vysoká cena, která je způsobena vývojem svítidel s LED diodami vzhledem k jejich složitosti s chladicí plochou, měničem, správným směřováním a vývojem světelných diod samotných.

Z výsledků výpočtů, ekonomického hodnocení a faktu, že vývoj LED zdrojů a svítidel se stále zlepšuje a vlivem narůstající konkurence i zlevňuje, zvolil bych výměnu svítidel osvětlující pochůzná cesta na rypadle za svítidla osazená LED diodami. Vzhledem k širší nabídce těchto svítidel by bylo dobré bližší prozkoumání cen a parametrů jednotlivých svítidel a tím snížit možné investice.

U světlometů s LED diodami, které by plnily potřebné parametry, není nabídka od značkových výrobců (prodejců) příliš rozsáhlá a cena za ně je zatím příliš vysoká. Řešení záměny všech světlometů zvoleným typem LED světlometu je v nejbližších 10 letech nevýhodné a proto bych v tomto případě výměnu zatím nerealizoval, případně zvolil jiný modernější typ světlometu s výbojkovým světelným zdrojem.

Trend osvětlování pomocí LED světelných zdrojů je ve velkém rozmachu a díky rostoucím cenám elektrické energie a tedy snaze ušetřit a také snaze šetřit životní prostředí, bude tento trend stále růst. Je jen otázkou času, kdy budou současné nehospodárné světelné zdroje zcela nahrazeny.

Použitá literatura

- [1] Severočeské doly a.s. [online] Dostupné z WWW: <http://www.sdas.cz>
- [2] HABEL, Jiří – Světelná technika. 1.vyd. Ediční středisko ČVUT, Praha 6. 1990.76 stran
ISBN 80-01-00407-4
- [3] SOKANSKÝ Karel, NOVÁK Tomáš, BÁLSKÝ Marek, BLÁHA Zdeněk, CARBOL Zbyněk, DIVÍŠ Daniel, SOCHA Blahoslav, ŠNOBL Jaroslav, ŠUMPICH Jan, ZÁVADA Petr – SvětelnáTechnika. 1.vyd.České vysoké učení technické v Praze. 2011. 256 stran.
ISBN 978-80-01-04941-9
- [4] SOKANSKÝ Karel a kol.: Racionalizace v osvětlování venkovních prostor, ČSO RS Ostrava, 2005
- [5] OSRAM [online] 2012. Nejdůležitější základní pojmy světelné techniky. Dostupné z WWW: http://www.osram.cz/osram_cz/KATALOG/13_Pojmy_prehledy.pdf
- [6] WIKIPEDIA[online].Teplota chromatičnosti. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1_tepnota
- [7] Norma povrchových dolů NPD 31-6-61: Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven – část 6: Osvětlování-kapitola 61: Osvětlování vnějších a vnitřních prostorů. Říjen 2007
- [8] PRODECO a.s. [online] RYPADLA kolesová. 2006. Dostupné z WWW: <http://www.prodeco.cz/cs/vyrobní-program/rypadla/>
- [9] PHILIPS [online] 2012. Světelné zdroje MASTER LED. Dostupné z WWW: <http://www.lighting.philips.cz/lightcommunity/trends/led/masterled.wpd>
- [10] BEGHELLI [online]. Průmyslová svítidla.2011. Dostupné z WWW: <http://www.beghelli.cz/cz/cze/main.html>
- [11] ELEKTROSVIT Svatobořice a.s.[online].Katalog svítidel a světlometů. Dostupné z WWW: <http://www.elektrosvit.eu/default.asp?lang=cs>
- [12] Norma povrchových dolů NPD 31-6-63: Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven – část 6: Osvětlování-kapitola 63: Navrhování osvětlování vnějších a vnitřních prostorů. Říjen 2007
- [13] ČSN 34 1638 – Elektrická zařízení těžební technologie pro povrchové dobývání.Český Normalizační institut.1998.
- [14] WIKIPEDIA [online]. LED. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/LED_dioda
- [15] Kurz osvětlovací techniky XXVIII. ČSO. 11.-13.10. 2010, Kouty nad Desnou
- [16] LEDmani.cz [online]. Veřejné osvětlení - není LED jako LED. Dostupné z WWW: <http://www.ledmania.cz>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Barva světla podle vlnové délky.....	- 2 -
Obrázek 2 - Vymezení prostorového úhlu.....	- 4 -
Obrázek 3 - Definice jasů.....	- 5 -
Obrázek 4 - Teplota chromatičnosti.....	- 6 -
Obrázek 5 - Rypadlo SchRs 1550 při nočním provozu.....	- 9 -
Obrázek 6 - Celkový pohled na rypadlo SchRs 1550.....	- 9 -
Obrázek 7 - Směšová výbojka ML 160W.....	- 11 -
Obrázek 8 - Lineární halogenová žárovka.....	- 12 -
Obrázek 9 - Žárovka Master LED.....	- 12 -
Obrázek 10 - LED žárovka pro nouzové osvětlení.....	- 13 -
Obrázek 11 - Závěsné pryžové svítidlo LEO.....	- 14 -
Obrázek 12 - Uchycení na stožárku.....	- 14 -
Obrázek 13 - Rozmístění podél ochozů.....	- 14 -
Obrázek 14 - Vaničkové svítidlo TUB.....	- 15 -
Obrázek 15 - Uložení v zábradlí.....	- 15 -
Obrázek 16 - Světlomet HALSPOT I.....	- 15 -
Obrázek 17 - Světlomet HALSPOT II.....	- 15 -
Obrázek 18 - Světelná dioda LED.....	- 18 -
Obrázek 19 - Výkonová LED firmy Cree XML.....	- 18 -
Obrázek 20 - Příklad LED světlometu.....	- 21 -
Obrázek 21 - LED světlomet PHILIPS.....	- 21 -
Obrázek 22 - Příklad LED světelného zdroje jako náhrada za klasickou žárovku.....	- 22 -
Obrázek 23 - LED žárovka 40W jako náhrada za 150W.....	- 22 -
Obrázek 24 - Příklad průmyslového LED svítidla 150W.....	- 22 -
Obrázek 25 - Příklad LED svítidla pro pouliční osvětlení.....	- 22 -
Obrázek 26 - Světlometry před kabinou řidiče.....	- 24 -
Obrázek 27 - Světlomet na špičce kolesového pasu.....	- 24 -
Obrázek 28 - Zobrazení prvků v simulaci.....	- 25 -
Obrázek 29 - Zobrazení s rozsvícenými světlometry.....	- 25 -
Obrázek 30 - RELUX -pohled na část dopravníku s ochozy a svítidly.....	- 27 -
Obrázek 31 - RELUX - část dopravníku - rozsvícená svítidla + zobrazení křivek svítivosti.....	- 27 -
Obrázek 32 - Rovnoměrnost osvětlenosti.....	- 28 -
Obrázek 33 - Umístění a směřování LED světlometů.....	- 31 -
Obrázek 34 - Zobrazení s křivkami vyzařování.....	- 31 -
Obrázek 35 - Rozmístění LED světlometů.....	- 33 -
Obrázek 36 - Čelní pohled rozmístění LED světlometů.....	- 33 -
Obrázek 37 - LED svítidla s šipkami směru vyzařování.....	- 36 -
Obrázek 38 - Zobrazení LED svítidel s křivkami vyzařování.....	- 36 -
Obrázek 39 - Rozložení osvětlenosti.....	- 37 -

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Orientační životnost různých světelných zdrojů	- 7 -
Tabulka 2 - Požadavky na osvětlení pro vnější prostory TC dle NPD 31-6-61	- 16 -
Tabulka 3 - Požadavky na osvětlení pro pracovní činnost dle NPD 31-6-61	- 16 -
Tabulka 4 - Intenzita osvětlení na velkstroji dle ČSN 34 1638	- 17 -
Tabulka 5 - Parametry vybraných typů LED zdrojů 1W(350mA)	- 20 -
Tabulka 6 - Parametry výbojových světelných zdrojů	- 21 -
Tabulka 7 - Porovnání světlometů	- 30 -
Tabulka 8 - Porovnání svítidel pro pochůzná lávky	- 35 -
Tabulka 9 - Energetické a ekonomické zhodnocení	- 38 -

Soupis norem

ČSN EN 12464-2 – Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2 – Venkovní prostory.

ČSN 34 1638 – Elektrická zařízení těžební technologie pro povrchové dobývání.

NPD 31-6-61 – Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven – Část 6: Osvětlování – Kapitola 61:
Osvětlování vnějších a vnitřních prostorů.

NPD 31-6-63 – Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven – Část 6: Osvětlování – Kapitola 63:
Navrhování osvětlení vnějších a vnitřních prostorů.